Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 381-401

Assessing the Environmental Parameters of the Rice (*Oryza sativa* L.) in the Second Cropping and Ratoon Systems using Life Cycle Assessment (LCA)

Hemmatollah Pirdashti[1]*, Zahra Saber[2], Faezeh Mohammadi Kashka[3], Yaser Rahmati[4], and Ali Motevali[5]

Received: 31-07-2021
Revised: 31-10-2021
Accepted: 13-12-2021
Available Online: 13-12-2021

How to cite this article:
Pirdashti, H., Saber, Z., Mohammadi Kashka, F., Rahmati, Y., & Motevali, A. (2023). Assessing the environmental parameters of the rice (*Oryza sativa* L.) in the second cropping and ratoon systems using life cycle assessment (LCA). *Journal of Agroecology*, *15*(2), 381-401.
DOI: 10.22067/agry.2021.71735.1061

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important food resources for more than half of the world's population. Rice, as the second most strategic crop, is the most important cereal after wheat. Excessive use of renewable and non-renewable resources in the agricultural sector, chemical control of rice diseases, and irreparable environmental damage of these systems potentially have a variety of environmental impacts on agricultural systems; such effects can be assessed by the life cycle assessment (LCA) approach. The purpose of the present research is to assess knowing and comparing the trend of environmental pressure of the second and ratoon cropping systems of rice production in the paddy fields.

Materials and Methods

This research was conducted in 2020 in the paddy fields of Amol City with a focus on recognizing and comparing the trend of environmental pressure in rice production in the second and ratoon cropping systems. Accordingly, all data related to the second and ratoon rice cropping systems in different stages of rice production, from planting to harvesting phases, was collected in the Amol region. This study addresses the environmental effects of rice production in two cropping systems using the LCA method to classify and quantify. Furthermore, the environmental impacts of these systems, such as global warming potential, eutrophication, and acidification of water and soil, were also calculated. In this study, the functional unit of rice production systems was considered equivalent to one ton of paddy. Therefore, to evaluate the emission of greenhouse gases and energy in paddy fields, paddy farmers collected and interviewed the required information.

1- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
5- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
(*- Corresponding author's Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

Results and Discussion

The findings of this study indicated that the highest global warming potential of rice was related to the rice second cropping system, about 1896.92 kg carbon dioxide per ton of produced rice. Evaluation of the LCA in the rice production process showed that in the environmental impact group of global warming, about 1673.99 kg equivalent of carbon dioxide to the atmosphere had been released per ton of rice in the ratoon cropping system. Direct emissions from on-farm activities in all two studied systems have played a major role in increasing global warming. The source of these pollutants is the combustion of diesel used in agricultural implements and machinery, accompanied by the emission of nitrogen dioxide, nitrogen oxides, and other nitrogenous compounds resulting from using nitrogen fertilizers. Also, rice second cropping systems had a greater impact on human health damage, ecosystem quality, and climate change than ratoon cropping systems. Moreover, the values of damages on the quality of the ecosystem in these systems were about 10089.08 and 7146.58 PDF*m2 * yr in the second and ratoon cropping systems, respectively. In addition, both rice production systems have shown the greatest impact on ecosystem quality and then on human health. Direct emissions from on-farm activities in the two studied systems have significantly increased global warming. The source of these pollutants is the combustion of diesel used in agricultural implements and machinery, as well as the emission of nitrogen dioxide, nitrogen oxides, and other nitrogenous compounds resulting from using nitrogen fertilizer.

Conclusion

The results revealed that the rice second cropping system had a higher amount of total emissions than the ratoon cropping system. Therefore, the rice ratoon production system is more environmentally friendly than the rice second cropping systems.

Acknowledgments

This research was funded by the Sari Agricultural Sciences and the Natural Resources University (SANRU) under contract No. d-110-99-16690. We would also like to thank the esteemed rice farmers in the Amol region, Mazandaran province, Iran, for their cooperation.

Keywords: Ecosystem quality, Global warming potential, Human health, Paddy, Production systems

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۴۰۱-۳۸۱

ارزیابی مؤلفه‌های زیست‌محیطی دو سامانه کشت مجدد و راتون برنج (*Oryza sativa* L.) بر مبنای ارزیابی چرخه حیات

همت‌اله پیردشتی[1]*، زهرا صابر[2]، فائزه محمدی کشکا[3]، یاسر رحمتی[4] و علی متولی[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

چکیده

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غذای بیش از نیمی از مردم جهان به‌شمار می‌رود. کاربرد بیش از حد منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در بخش کشاورزی به‌صورت بالقوه، تأثیرات زیست‌محیطی گوناگونی را بر بوم‌نظام‌های زراعی اعمال می‌کند؛ چنین تأثیراتی را می‌توان با رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) مورد ارزیابی قرار داد. این پژوهش در سال ۱۳۹۹ با محوریت شناخت و مقایسه روند فشار زیست‌محیطی الگوهای کشت دوم و راتون تولید برنج در شالیزارهای شهرستان آمل انجام پذیرفت. بر این اساس، در مراحل مختلف تولید برنج از جمله کاشت، داشت و برداشت، داده‌های مرتبط با الگوهای کشت دوم و راتون از کشاورزان شهرستان آمل، گردآوری و اثرات زیست‌محیطی حاصل از سامانه‌های مذکور همچون پتانسیل گرمایش جهانی، اوتریفیکاسیون و اسیدی شدن آب و خاک برآورد شد. در این پژوهش، واحد کارکردی بوم نظام‌های تولید برنج معادل یک تن شلتوک در نظر گرفته شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش حکایت از آن داشت که بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برنج مربوط به کشت مجدد برنج در حدود ۱۸۹۶/۹۲ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن به‌ازای یک تن شلتوک تولیدی بوده است. ارزیابی چرخه حیات در تولید برنج نشان داد، در گروه تأثیر زیست-محیطی پتانسیل گرمایش جهانی به‌ازای تولید هر تن شلتوک در سامانه‌های راتون در حدود ۱۶۷۳/۹۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به اتمسفر انتشار یافته است. انتشارات مستقیم ناشی از فعالیت‌های درون مزرعه‌ای در هر دو سامانه مورد مطالعه سهم عمده و اصلی را در افزایش گرمایش جهانی داشته که منشأ این آلایندگی‌ها را می‌توان در احتراق سوخت مصرفی در تجهیزات کشاورزی و نیز انتشار اکسیدهای نیتروژن‌دار، دی اکسید نیتروژن و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار حاصل از مصرف کود نیتروژن دانست. همچنین، سامانه‌های کاشت مجدد برنج تأثیر بیشتری در سه رده آسیب سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییر اقلیم نسبت به سامانه‌های تولید راتون داشته‌اند. همچنین مقادیر خسارات وارد شده بر کیفیت اکوسیستم ناشی از تولید هر تن شلتوک در سامانه‌های کشت مجدد و راتون به‌ترتیب حدود ۱۰۰۸۹/۰۸ و ۷۱۴۶/۵۸ $PDF \times m^2 \times yr$ بوده است. علاوه‌براین، هر دو سامانه تولید برنج بیشترین اثر را بر کیفیت اکوسیستم و پس از آن بر سلامت انسان نشان داده‌اند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، سامانه تولید راتون برنج نسبت به سامانه‌های کشت مجدد برنج به‌لحاظ زیست‌محیطی از سازگاری بیشتری برخودار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل گرمایش جهانی، سامانه‌های تولید، سلامت انسان، شلتوک، کیفیت اکوسیستم

۱- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۲- دانش‌آموخته دکترای زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۳- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۴- دانشجوی دکترای زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۵- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.71735.1061

مقدمه

امنیت غذایی از منظر جوامع مدرن و در حال توسعه، دارای اهمیت منحصر به فردی می‌باشد. جهان امروز، درصدد ایجاد تحولی همه جانبه در حوزه کشاورزی و تولید محصولات زراعی است که مهم‌ترین مؤلفه‌های آن را باید در راهکارهایی همچون افزایش تولیدات کشاورزی، افزایش سطح زیر کشت و نیز به‌کارگیری الگوهای مختلف کشت جستجو کرد. در این میان، غلات به‌دلیل برخورداری از برخی ویژگی‌ها از جمله کالری فراوان، سهولت حمل و انبار کردن در زمره مهم‌ترین گیاهانی به‌شمار می‌روند که در تأمین نیاز بشر نقش عمده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان تیره غلات گیاهی است که بشر به‌گونه‌ای چشمگیر بدان وابسته است (Chabra et al., 2006). برنج غذای اصلی نصف جهان و به‌ویژه مردم آسیا و تقریباً ۳۰ الی ۶۰ درصد کالری مصرف شده در این مناطق را تأمین می‌کند (Rahman et al., 2014). در ایران نیز برنج جایگاه و نقش بسزایی در تغذیه و اقتصاد مردم دارد؛ لذا افزایش تولیدات برنج در برنامه‌های مختلف، همواره در کانون توجه بوده است (Moumeni et al., 2003).

در سالیان اخیر به زیر کاشت بردن مجدد زمین‌های زراعی در مازندران بسیار مورد توجه قرار گرفته است، به‌گونه‌ای که بعد از برداشت محصول اصلی و در طول تابستان امکان کشت مجدد وجود دارد. بر اساس آخرین اطلاعات موجود، از مجموع ۲۷۲۱۶۱ هکتار سطح زیرکشت شلتوک استان مازندران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، حدود ۶۰ هزار هکتار مربوط به کشت مجدد بوده است (Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2019). کشت راتون نیز به‌دلیل دوره رشد کوتاه و هزینه تولید پایین، سالیانه با افزایش استقبال کشاورزان مواجه می‌گردد (Yazdpour et al., 2007). برنج راتون به محصول دوم تولیدی پس از برداشت محصول اصلی و با رشد مجدد ساقه‌های باقی‌مانده آن‌ها اطلاق می‌شود (Song et al., 2021). پیدایش پدیده نوظهور کشت مجدد برنج نقش بسزایی در تأمین غذا و درآمد ساکنان این نواحی ایفا می‌کند (Nouri et al., 2014). از سویی، این نکته را نباید از نظر دور داشت که امکانات و فراهم‌سازی تولید انبوه مواد غذایی به‌میزان زیادی وابسته به کاربرد مواد شیمیایی است و به تبع آن دغدغه‌ها را در ارتباط با تبعات زیست‌محیطی ناشی از آن را تشدید می‌کند (Nemecek et al., 2011). در قرن حاضر، آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از بخش کشاورزی یکی از اساسی‌ترین منابع انتشار آلاینده‌ها تلقی می‌شود (Pishgar-Komleh et al., 2017). گرمایش جهانی، به‌دلیل افزایش مقادیر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر (Dai et al., 2013; Fu et al., 2015) از جمله دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4)، کلروفلوروکربن‌ها (CFCs)، اکسید نیتروس (N_2O) و سولفورهگزافلورید (SF_6) و پرفلوروکربن‌ها (PFCS)، می‌باشد (Morino et al., 2010; Miao et al., 2013). گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروس با گرم شدن جو زمین، به پدیده اثر گلخانه‌ای دامن می‌زنند (Hiraishi et al., 2014). انتشار گازهای حاصل از فعالیت‌های انسانی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی تبعاتی همچون اسیدی شدن خاک، اوتریفیکاسیون و نیز نابودی جنگل‌ها را در پی خواهد داشت (Khoshnevisan et al., 2013b). مشارکت جهانی بخش کشاورزی با در نظر گرفتن کلیه انتشارات مستقیم و غیرمستقیم، ۱۷ تا ۳۲ درصد از کل انتشارات جهانی گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود. در این میان، انتشارات مستقیم در بخش کشاورزی در حدود ۰/۱۰ تا ۰/۱۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بر می‌گیرد که در آن سهم اکسید نیتروس و متان در حدود ۳۸ و ۳۲ درصد بوده و مابقی آن مربوط به سوزاندن زیست‌توده (۱۲ درصد)، تولید برنج (۱۱ درصد) و کودهای دامی (هفت درصد) می‌باشد (Bellarby et al., 2008).

با کمک رهیافت‌های گوناگون می‌توان اثرات زیست‌محیطی فرایندهای مختلف را تجزیه و تحلیل کرد و نقاط عمده آلایندگی را شناسایی نمود (Schröder et al., 2003). بررسی چرخه حیات روشی است که در آن تمامی منابع مصرفی به‌منظور تولید محصول و تمامی مواد انتشار یافته به محیط‌زیست، کمّی‌سازی می‌شوند (Sahle & Potting, 2013; Finkbeiner et al., 2006). تحلیل چرخه حیات، بر مبنای ارزیابی دو گزاره انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست و میزان مصرف منابع محاسبه می‌شود (Brentrup et al., 2004 a,b; Roy et al., 2009). پژوهش‌های بسیاری در زمینه ارزیابی آلاینده‌های زیست‌محیطی با رویکرد چرخه حیات برنج در چین (Wang et al., 2010)، ایتالیا (Blengini et al., 2009)، کالیفرنیا (Brodt et al., 2014)، مصر (Armanuos et al., 2016)، ژاپن (Hokazono & Hayashi, 2015)، بنگلادش (Rahman et al., 2014) و ایران

(Nabavi-Firouzi et al., 2018 ؛Alipour et al., 2012 Pelesaraei et al., 2019) انجام شده است.

متولی و همکاران (Motevali et al., 2019) نیز به مطالعه تولید برنج سفید در شمال ایران (مازندران، گیلان و گلستان) با رویکرد ارزیابی چرخه حیات پرداختند. این نتایج حاکی از آن است که تولید برنج مکانیزه در مازندران به افزایش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و نیز افزایش شاخص‌های اثر حاصل از آن‌ها دامن می‌زند. نبوی پله‌سرائی و همکاران (Nabavi-Pelesaraei et al., 2017) در مطالعه‌ای با رویکرد تحلیل چرخه‌ی حیات و ارزیابی زیست‌محیطی تولید شلتوک در شالیزارهای شهرستان رشت، چرخه حیات این محصول را از مرحله استخراج مواد اولیه تا برداشت آن مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، شاخص پتانسیل گرمایش جهانی به‌عنوان مهم‌ترین رده اثر زیست‌محیطی در مطالعات ارزیابی چرخه حیات، به ازای تولید هر تن شلتوک در حدود ۱۱۶۶/۰۹ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن به اتمسفر برآورد شد. نتایج مطالعه‌ای سه ساله به‌منظور ارزیابی میزان انتشار متان (CH_4) و اکسید نیتروس (N_2O) در مزارع شالیزاری برنج منفرد و راتون در چین نشان داد که سامانه کشت اصلی برنج به‌همراه راتون آن می‌تواند میزان انتشار گازهای متان و اکسید نیتروس از این مزارع را افزایش دهد. در این پژوهش، مزارع راتون با انتشار بیش‌تر این گازهای آلاینده نسبت به مزارعی که تنها کشت اصلی برنج داشتند به‌طور قابل‌توجهی سبب تشدید پتانسیل گرمایش جهانی شدند (Song et al., 2021).

دستان و همکاران (Dastan et al., 2016) در پژوهشی با مقایسه انتشار دی‌اکسیدکربن و پتانسیل گرمایش جهانی در شالیزارهای استان مازندران به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقادیر درصد انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به نیروی برقِ مورد استفاده برای پمپ کردن آب می‌باشد. در این پژوهش، کود شیمیایی نیتروژن و سوخت نیز در رتبه‌های دوم و سوم آلایندگی قرار گرفتند. علاوه‌براین، ملافیلابی (Mollafilabi, 2019) با مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید برنج در الگوهای کشت اول و دوم با روش ارزیابی چرخه حیات نشان داد، بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برنج در مقایسه الگوهای کشت مربوط به کشت دوم با ۸۴۰/۳۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای یک تن شلتوک بوده است. فیروزی و همکاران (Firouzi et al., 2018) نیز با مطالعه بر سامانه‌های زراعی برنج با رویکرد ارزیابی چرخه حیات نشان دادند، سامانه‌های راتون برنج به‌لحاظ زیست‌محیطی نسبت به سامانه‌های دیگر کارآمدتر می‌باشند. انصاری و همکاران (Ansari et al., 2015) با مطالعه ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی برنج در سامانه‌های کشت اول و دوم برنج در شهرستان ساری نشان دادند که پتانسیل گرمایش جهانی در الگوی کشت دوم (۱۱۸۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هر هکتار) ۲۰ درصد بیشتر از کشت اول (۹۹۰ کیلوگرم معادل دی-اکسیدکربن در هر هکتار) می‌باشد. همایونی و همکاران (Homayouni et al., 2018) در پژوهش خود در مورد ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ارقام مختلف شلتوک برنج در شهرستان کردکوی با روش ارزیابی چرخه حیات، نشان دادند در میان اثرات زیست‌محیطی برآورد شده، پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی بیشترین اثر را در تولید برنج داشته است. همچنین این پژوهشگران اذعان داشتند، دو اثر زیست‌محیطی تخلیه منابع فسفات و تخلیه منابع آبی از اثرات زیست‌محیطی مهم دیگر در کشت برنج به‌شمار می‌روند.

از آنجا که محیط‌زیست از مؤلفه‌های اساسی در سیاست‌های کلان جهانی به‌شمار می‌رود و قادر است مؤلفه‌های دیگر را نیز تحت تأثیر قرار دهد، آگاهی از اثرات زیست‌محیطی پیش‌نیاز تعداد بسیاری از فعالیت‌ها در سطح کلان می‌باشد. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند که از سویی، بررسی‌های اخیر به‌صورت کاملاً جداگانه‌ای فرآیندهای تولید برنج را در الگوهای مختلف کاشت برنج از جمله کشت دوم و راتون مورد بررسی قرار داده‌اند و در بسیاری از موارد اثرات زیست‌محیطی هرکدام از بخش‌ها و روند مقایسه‌ای این سیستم‌ها با یکدیگر بررسی نشده اند؛ از سوی دیگر، تاکنون مطالعات جامعی در خصوص ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های کشت دوم و راتون برنج انجام نشده است. لذا، با توجه به سطوح زیرکشت قابل‌ملاحظه برنج و افزایش استقبال کشاورزان از الگوی کشت دوم و برنج راتون و نیز کاربرد مفرط نهاده‌های کشاورزی در کاشت، داشت و برداشت این محصول راهبردی؛ بدیهی است که اثرات زیست‌محیطی بسیاری بر بوم‌نظام این ناحیه می‌گذارد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف طبقه‌بندی و کمّی‌سازی اثرات زیست‌محیطی تولید برنج در دو الگوی زراعی برنج شامل کشت دوم و راتون برنج با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور طبقه‌بندی و کمّی‌سازی اثرات زیست

محیطی تولید برنج در دو الگوی زراعی برنج شامل کشت دوم و راتون برنج با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات در سال ۱۳۹۹ در شالیزارهای شهرستان آمل بهاجرا درآمد. به‌منظور انجام آزمایش برای سامانه‌های کشت دوم و راتون برنج، مزارعی از شهرستان آمل و حومه آن انتخاب شدند. شهرستان آمل با حدود ۳۰۷۴/۴ کیلومترمربع مساحت در موقعیت جغرافیایی بین ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارزیابی چرخه حیات دارای چهار گام تعیین هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و تفسیر می‌باشد (Tong et al., 2015). این روش تمامی جنبه‌های زیست‌محیطی از جمله به‌کارگیری منابع و نتایج ناشی از رهاسازی آن‌ها را در طول چرخه حیات یک فرایند یا محصول و یا به‌عبارتی از گهواره تا گور دربرمی‌گیرد (Rashid & Yusoff, 2015).

در گام نخست فرایند چرخه حیات و به‌منظور فراهم‌سازی شرایط برای مقایسه الگوهای گوناگون کاشت برنج، فرایند یا فعالیت یا واحد مرجع تعریف و با استفاده از آن، ورودی‌ها و خروجی‌ها به هم مرتبط می‌شوند. یکی از اقدامات مهم و الزامی در این گام، انتخاب مرز سامانه است، چرا که تعیین مرز سامانه به‌جهت محاسبه دقیق‌تر مواد منتشر شده ناشی از مصرف درون سیستم ضروری است (Schau et al., 2008). در این پژوهش، دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه‌های مورد بررسی (کشت مجدد و راتون) در نظر گرفته شد (شکل ۱). واحد کارکردی مورد مطالعه نیز برای یک تن شلتوک محاسبه گردید؛ به این معنی که اثرات زیست‌محیطی به‌ازای یک تن وزن شلتوک برداشت شده از سطح زمین محاسبه شدند. در این قسمت، داده‌های مربوط به کاشت، داشت و برداشت در دو سامانه، به‌صورت رو در رو از کشاورزان جمع‌آوری گردید. به‌منظور تعیین اندازه نمونه نیز از معادله کوکران (معادله ۱) استفاده شد (Romero-Gámez et al., 2012):

$$n=\frac{N\ S^2t^2}{(N-1)d^2+S^2t^2}$$ معادله (۱)

که در آن، N: اندازه جامعه آماری و یا تعداد کشاورزان منطقه مورد بررسی، t: ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t-student در سطح احتمال پنج درصد حاصل می‌گردد، S: برآورد انحراف معیار صفت مورد بررسی در جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n: حجم نمونه می‌باشد.

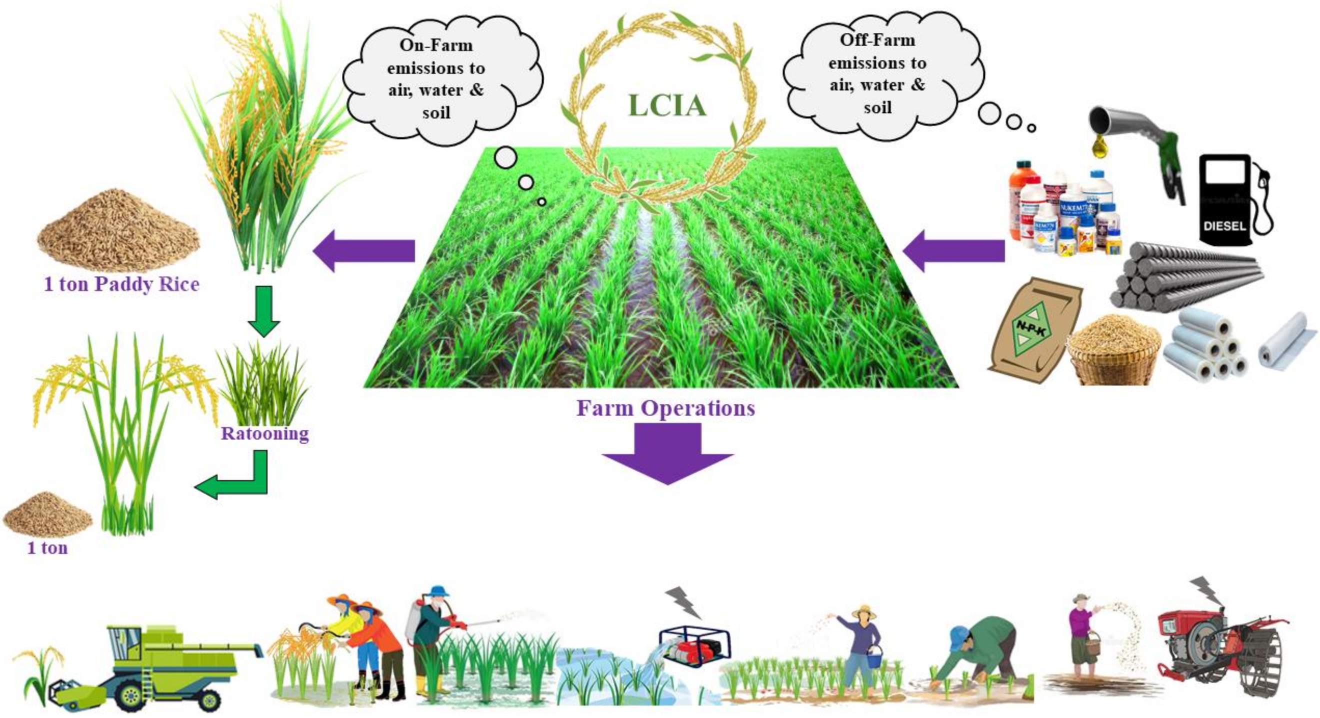
با توجه به معادله ۱، حجم نمونه به‌دست آمده از فرمول کوکران در حدود ۱۴۴ مزرعه برای کشت مجدد برنج و در حدود ۵۲ مزرعه برای سامانه راتون برآورد شد. جهت اجرای آزمایش و در گام دوم ارزیابی چرخه حیات در سامانه‌های مذکور نهاده‌های ورودی و خروجی برای هر مزرعه توسط پرسشنامه استخراج شدند. داده‌های مربوط به مزرعه عبارت بودند از: میزان مصرف نهاده‌ها شامل بذر مصرفی، ماشین‌های کشاورزی، نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5)، پتاس (K_2O)، سموم شیمیایی، نایلون، روغن، گازوئیل و میل‌گرد در بخش کاشت، داشت و برداشت. در این گام، انتشارات ناشی از کودهای دامی و شیمیایی با استفاده از ضرایب هیئت بین الدول تغییرات آب و هوا تخمین زده شد که برخی از این ضرایب در جدول ۱ ارائه شده است (IPCC, 2006). همچنین، جهت برآورد انتشارات ناشی از احتراق دیزل که خود حاصل راه‌اندازی و کاربرد ماشین‌آلاتی همچون تراکتورها است، از ضرایب موجود در پایگاه داده اکواینونت استفاده گردید (Wernet et al., 2016). علاوه‌براین، انتشارات ناشی از سوزاندن بقایا به اتمسفر (Wikström & Adolfsson, 2004) و انتشارات فلزات سنگین حاصل از کودهای شیمیایی به خاک نیز در این پژوهش برآورد شد (Durlinger et al., 2015).

در گام سوم ارزیابی چرخه، شامل مراحلی همچون طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی بوده و هر کدام از مقادیر انتشار یافته به محیط‌زیست و منابع مورد استفاده در چرخه حیات، به اثر زیست-محیطی مربوطه نسبت داده شد. در مرحله ارزیابی تأثیر تعیین شد، ابتدا هر یک از مواد انتشار یافته به محیط که مقدار آن‌ها در گام قبل مشخص شده بود، دارای کدام تأثیرات هستند و باید در کدام طبقه یا طبقه‌های تأثیر قرار گیرند. سپس این انتشارات به یک واحد معادل برای هر طبقه تأثیر تبدیل می‌شوند. برای نمونه، گازهای انتشار یافته دی‌اکسیدکربن، متان، اکسید نیترو دارای تأثیر بر گرم شدن کره زمین هستند، ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم بسیار متفاوت است؛ چنانچه یک کیلوگرم اکسید نیتروس و یک کیلوگرم متان انتشار یافته باشد، به‌ترتیب به‌صورت ۳۱۰ کیلوگرم و ۲۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بیان می‌شود (Guinée & Lindeijer, 2002; Bare, 2002). شاخص هر گروه اثر با استفاده از معادله ۱ به‌دست آمد:

$$ICI_i=\sum_i[(E_j\,or\,R_j)\times CF_{i,j}]$$ معادله (۱)

شکل ۱- مرز سامانه تعیین شده برای ارزیابی چرخه حیات تولید یک تن شلتوک در شالیزارهای شهرستان آمل ، استان مازندران، ایران

Fig. 1- The defined system boundary for assessing the life cycle of a ton of paddy rice production in Amol city, Mazandaran province, Iran.



که در آن، ICI_i: شاخص طبقه‌بندی هر گروه اثر i، E_j یا R_j: انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j برای هر واحد کارکردی و CF_{ij}: فاکتور طبقه‌بندی برای ترکیب j سهیم در گروه اثر i می‌باشد. پس از تعیین شاخص طبقه‌بندی، نرمال‌سازی به‌منظور بی‌بعد کردن داده‌ها انجام می‌گیرد. وزن‌دهی نیز پتانسیل آسیب هر گروه اثر را نشان داده و بزرگ‌تر بودن این فاکتور، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر آن گروه تأثیر برای آسیب به محیط زیست می‌باشد (Brentrup et al., 2004 a). در آخرین مرحله نیز شاخص محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت که معیار نهایی LCA است، با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد، در حقیقت، شاخص زیست‌محیطی هر گروه اثر نشان‌دهنده میزان تخریب آن گروه خواهد بود:

$$EcoX = \sum_i [N_i \times WF_i] \quad \text{(۲) معادله}$$

که در آن، Ecox: شاخص زیست‌محیطی واحد کارکردی برای اثرات زیست‌محیطی، N: نتایج نرمال‌سازی برای گروه اثر i در هر واحد کارکردی و WF_i: فاکتور وزن‌دهی برای هر گروه تأثیر i می‌باشد. باید اذعان داشت هر چه شاخص زیست‌محیطی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست خواهد بود (ISO, 1997).

در پژوهش حاضر، به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز چرخه حیات از استاندارد Impact2002+ (v2.15) موجود در نرم‌افزار سیماپرو (SimaPro V9.0.0) استفاده شد. مهم‌ترین گروه‌های تأثیر در این تحقیق در روش Impact2002+ شامل مواد سرطان‌زا، غیر سرطان‌زا، مواد تنفسی غیر آلی، تشعشات یونیزه‌کننده، تخلیه لایه ازن، مواد تنفسی آلی، سمیت آبی، سمیت خاکی، اسیدی‌سازی خاکی، اشغال زمین، اسیدی‌سازی آبی، اوتریفیکاسیون، پتانسیل گرمایش جهانی، انرژی تجدیدناپذیر و تخلیه مواد معدنی می‌باشند که نتایج سیاهه را به چهار شاخص پایانی یا رده خسارت سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخلیه منابع مرتبط می‌سازد (جدول ۲).

در توضیح برخی از شاخص‌های زیست‌محیطی مانند انرژی تجدیدناپذیر در حقیقت اشاره به گازوئیل، گاز طبیعی و نظیر آن‌ها دارد که بر اساس ورودی‌های مختلف و انرژی مورد نیاز برای ساخت و حمل و نقل آن‌ها و نگهداری ماشین‌آلات محاسبه می‌گردد. همچنین پتانسیل تخلیه لایه ازن نیز تأثیر مواد انتشار یافته در از بین بردن لایه ازن را کمّی‌سازی می‌کند. علاوه‌براین، اشغال یا استفاده از زمین نیز به استفاده از زمین به‌عنوان یک منبع مربوط می‌شود که باعث می-

گردد، به‌طور موقت بـرای سـایر مقاصـد و حیـات وحـش غیـر قابـل دسترس شود، این استفاده به‌صورت کمّی است و کیفیت زمـین در آن لحـاظ نمـی‌شـود. اسـیدی‌سـازی بـه اثـر مـواد اسـیدی در خـاک و اوتریفیکاسیون نیز به اثر تلفات فسفر و نیتروژن اشاره داشـته کـه بـه صورت معادل PO_4^- کمّی می‌شود (Pennington et al., 2004).

درگام نهایی ارزیابی چرخه حیات نیز نتایج مراحل صورت‌بـرداری و ارزیابی تأثیر، مورد تحلیل قرار می‌گیرد تا مراحل یا نقـاط در مسـیر تولید و مصرف محصول، که بیشترین اثرات سـوء زیسـت‌محیطـی را دارند، شناسایی شوند و نیز محصول و یا فراینـد دارای حـداقل اثـرات سوء برای محیط‌زیست مشخص می‌گردد. در آخر، بـا تبیـین نتیجـه-گیری‌های مربوطه، توصیه‌های مورد نیاز به عمل مـی‌آیـد و گـزارش LCA تهیه می‌گردد (ISO, 1997).

در این پژوهش، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌هـای زیسـت-محیطی با اسـتفاده از مـدل LCA در نـرم‌افـزار SimaPro بـرآورد و مقایسه شدند. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel ترسیم شده است.

جدول ۱- ضرایب و فاکتورهای انتشار ترکیب‌های نیتروژنه و فسفره موجود در کودهای شیمیایی و دامی (IPCC, 2006)

Table 1- Emission factors of nitrogen and phosphorus compounds of chemical fertilizers and FYM (IPCC, 2006)

انتشارات Emissions	واحد Unit	انتشار به Emission to	معادله Equation
مقدار انتشارات حاصل از مجموع کودهای شیمیایی و دامی Emissions from fertilizers and FYM	kg $N_2O.kg^{-1}$ N	هوا Air	$N_2O=[0.01\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}]\times\left(\frac{44}{28}\right)$
مقدار انتشارات ناشی از تجزیه اتمسفری حاصل از کودهای شیمیایی Indirect N_2O from atmospheric deposition of chemical fertilizers	kg $N_2O.kg^{-1}$ N	هوا Air	$N_2O=[0.01\times 0.1\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers}]\times\left(\frac{44}{28}\right)$
مقدار انتشارات ناشی از تجزیه اتمسفری حاصل از کودهای دامی Indirect N_2O from atmospheric deposition of FYM	kg $N_2O.kg^{-1}$ N	هوا Air	$N_2O=[0.01\times 0.2\times kg\ N_{FYM}]\times\left(\frac{44}{28}\right)$
انتشارات مستقیم NO_x ناشی از خاک و کودها Direct NO_x emissions from fertilizers and soil	kg $NO_X.kg^{-1}$ N_2O from fertilizers and soil	هوا Air	$NOx=[kg\ N_2O_{Chemical\ fertilizers\ \&\ Soil}]\times\left(\frac{21}{100}\right)$
انتشارات حاصل از کود دامی Emissions from FYM	kg $NH_3.kg^{-1}$ N	هوا Air	$NH_3=[0.2\times kg\ N_{FYM}]\times\left(\frac{17}{14}\right)$
انتشارات حاصل از کود شیمیایی Emissions from chemical fertilizers	kg $NH_3.kg^{-1}$ N	هوا Air	$NH_3=[0.1\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers}]\times\left(\frac{17}{44}\right)$
انتشارات حاصل از کودهای شیمیایی و دامی Emissions from chemical fertilizers and FYM	kg $NO_3.kg^{-1}$ N	آب Water	$NO_3^-=[0.3\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}]\times\left(\frac{62}{14}\right)$
انتشارات حاصل از کودهای شیمیایی و دامی Emissions from chemical fertilizers and FYM	kg $P.kg^{-1}$ P	آب Water	$P_2O_5=[0.05\times kg\ P_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}]\times\left(\frac{62}{142}\right)$

نتایج و بحث

در این پژوهش، ارزیابی چرخه حیات دو سـامانه کشـت مجـدد و راتون از مرحله استخراج مواد اولیه تا برداشت آن به‌جهت بررسی‌های زیست‌محیطی تولید برنج انجام پذیرفت. میانگین مقـادیر نهـاده‌هـای مصرفی و نیز عملکرد شلتوک در هر هکتار از شالیزارهای منتخـب در جدول ۳ ارائه شده است که در آن میانگین عملکرد سامانه‌های کشت مجدد و راتون به‌ترتیب ۴۲۰۰ و ۲۶۰۹ کیلوگرم در هکتار بوده اسـت. علاوه‌براین، محاسبات به‌دست آمده از ارزیابی چرخه حیات با رویکـرد استاندارد IMPACT 2002+ بر مبنـای یـک تـن تولیـد شـلتوک در

سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲- تعریف نقاط میانی و روابط بین آن‌ها با نقاط پایانی در روش +IMPACT 2002

Table 2- Explanation of midpoints and their relationship with endpoints in IMPACT 2002+ method of LCA

نقاط میانی (گروه‌های اثر) Midpoints	واحد Unit	شاخص اثر Impact indicator	گروه آسیب Damage category
مواد سرطان‌زا Carcinogens	kg C_2H_3Cl eq.	سرطان، بیماری‌های تنفسی Cancer, respiratory diseases	سلامت انسان Human health
مواد غیرسرطان‌زا Non-carcinogens	kg $C2H_3Cl$ eq.	سرطان، بیماری‌های تنفسی Cancer, respiratory diseases	سلامت انسان Human health
مواد تنفسی غیرآلی Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq.	افزایش اندازه ذرات معلق در هوا Increase in different sized particles suspended in air (PM10, PM2.5, PM0.1)	سلامت انسان Human health
تشعشعات یونیزه کننده Ionizing radiation	Bq C-14 eq.	اثرات تشعشع (کاهش سلامت، سرطان، بیماری) Effects of the radiation (health decline, cancer, illnesses, etc.)	سلامت انسان Human health
تخلیه لایه ازن Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	افزایش تشعشعات ماورا بنفش و بیماری سرطان پوست Increase of ultraviolet UV-B radiation and the number of cases of skin illnesses	سلامت انسان/کیفیت اکوسیستم Human health/ Ecosystem quality
مواد تنفسی آلی Respiratory organics	kg C_2H_4 eq.	افزایش مه دود Increase in the summer smog	سلامت انسان/کیفیت اکوسیستم Human health/ Ecosystem quality
سمیت آبی Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	کاهش تنوع زیستی و یا انقراض گونه‌ها Biodiversity loss and/or extinction of species	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
سمیت خاکی Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	کاهش تنوع زیستی و یا انقراض گونه‌ها Biodiversity loss and/or extinction of species	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اسیدی‌سازی خاکی Terrestrial acid/nutria	kg SO_2 eq.	Increase of the acidity in soil systems	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اشغال زمین Land occupation	$m_2$org.arable	فقدان گونه‌ها، کاهش کیفیت خاک و مواد آلی خاک Species loss, soil loss, amount of organic dry matter content, etc.	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اسیدی‌سازی آبی Aquatic acidification	kg SO_2 eq.	افزایش مواد اسیدی در آب Increase of the acidity in water	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اوتریفیکاسیون Aquatic eutrophication	kg phosphate P-lim	افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در زیست توده (جلبک) Increase of nitrogen and phosphorus concentrations formation of biomass (e.g., algae)	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	تغییر درجه حرارت و پدیده تغییر اقلیم Disturbances in global temperature and climatic phenomenon	تغییر اقلیم Climate change
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ primary	کاهش منابع Decrease of resources	منابع Resources
تخلیه مواد معدنی Mineral extraction	MJ surplus	کاهش منابع Decrease of resources	منابع Resources

جدول ۳- میانگین مقادیر نهاده‌های مورد استفاده و عملکرد در دو سامانه مختلف تولید شلتوک

Table 3- Input usage and Yield mean of two different paddy systems

سامانه‌های برنج Rice systems	بذر Seed (kg)	نایلون Nylon (kg)	نیتروژن N (kg N)	فسفر P (kg P_2O_5)	پتاسیم K (kg K_2O)	سموم Pesticide (kg)	روغن Oil (kg)	دیزل Diesel (kg)	عملکرد Yield
کشت مجدد Rice second cropping	77.26	8.93	293.07	115.79	110.89	23.10	1.24	161.61	4200
راتون Ratoon cropping	-	-	165.88	-	-	13.56	0.60	102.86	2609

جدول ٤- شاخص‌های ارزیابی چرخه‌ی حیات در بوم‌نظام‌های تولید برنج (کشت مجدد و راتون) با رویکرد IMPACT 2002 +

Table 4- Impact categories of life cycle assessment in the rice second and ratoon cropping systems based upon IMPACT 2002+

نقاط میانی (گروه‌های اثر) Midpoints	واحد Unit	کشت مجدد Second cropping	راتون Ratoon cropping
مواد سرطان‌زا Carcinogens	kg C_2H_3Cl eq.	15.13798	16.85573
مواد غیرسرطان‌زا Non-carcinogens	kg $C2H_3Cl$ eq.	353.7397	126.2992
مواد تنفسی غیرآلی Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq.	2.844396	3.668581
تشعشعات یونیزه کننده Ionizing radiation	Bq C-14 eq.	9467.609	12438.35
تخلیه لایه ازن Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	0.000201	0.000195
مواد تنفسی آلی Respiratory organics	kg C_2H_4 eq.	0.564458	0.274459
سمیت آبی Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	6304765	6183495
سمیت خاکی Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1195652	819852.9
اسیدی‌سازی خاکی Terrestrial acid/nutria	kg SO_2 eq.	110.2985	140.3193
اشغال زمین Land occupation	$m_2$org.arable	183.7228	188.2601
اسیدی‌سازی آبی Aquatic acidification	kg SO_2 eq.	16.27214	20.61563
اوتریفیکاسیون Aquatic eutrophication	kg phosphate P-lim	1.237713	0.467854
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	1896.923	1673.995
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ primary	10740.49	13422.03
تخلیه مواد معدنی Mineral extraction	MJ surplus	87.66822	154.1945

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، در سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج به‌ترتیب در حدود ۱۸۹۶/۹۲ و ۱۶۷۳/۹۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای تولید هر تن شلتوک به اتمسفر انتشار می‌یابد. لذا، مقدار پتانسیل گرمایش به‌ازای هر تن شلتوک به‌دست آمده در نظام‌های کشت مجدد برنج بیشتر از مقدار آن در نظام‌های راتون برنج بود.مقادیر شاخص سمیت آبی برای تولید برنج در سامانه‌های کشت مجدد و راتون به‌ترتیب ۶۳۰۴۷۶۵ و ۶۱۸۳۴۹۵ کیلوگرم معادل تری اتیلن گلیکول به‌ازای تولید هر تن شلتوک است، همچنین این میزان برای شاخص سمیت خاکی نیز در دو سامانه به‌ترتیب ۱۱۹۵۶۵۲و ۸۱۹۸۵۲ کیلوگرم معادل تری اتیلن گلیکول به‌ازای تولید هر تن شلتوک بوده است. فیروزی و همکاران (Firouzi et al., 2018) نیز با بررسی سامانه کشت اصلی و راتون برنج با رویکرد ارزیابی چرخه حیات در شمال ایران اذعان داشتند، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب در سامانه‌های راتون و کشت اصلی برنج در حدود ۱۴۵۱/۷ و ۲۴۲۶/۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بوده است. در پژوهشی دیگر نیز شاخص پتانسیل گرمایش جهانی برای هر تن برنج بین ۹۳۳ تا ۱۸۴۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن برآورد شد (Fangueiro et al., 2017).

دستان و همکاران (Dastan et al., 2016) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سامانه‌های کاشت رایج (سنتی) منطقه و سامانه‌های کاشت فشرده برنج (System of Rice Intensification) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی را داشتند. در این پژوهش، متوسط پتانسیل گرمایش جهانی در سه سامانه کاشت فشرده، بهبود یافته و رایج (سنتی) مزارع برنج برابر با ۲۸۰۳/۲ کیلوگرم معادل دی-اکسیدکربن در هکتار بود. همچنین یودخوم و همکاران (Yodkhum et al., 2017) در مزارع برنج واقع در شمال کشور تایلند، مقدار پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از تولید یک تن برنج در حدود ۵۸۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، مقدار شاخص پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید هر تن برنج سفید در حدود ۲۵۲۰ تا ۲۶۶۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن حاصل گردید (Beccali et al., 2009). در پژوهشی در کشور چین، مقدار شاخص اسیدی‌سازی در تولید هر تن شلتوک در حدود ۵۲/۲۶ کیلوگرم معادل دی اکسید سولفور برآورد شد (He et al., 2018).

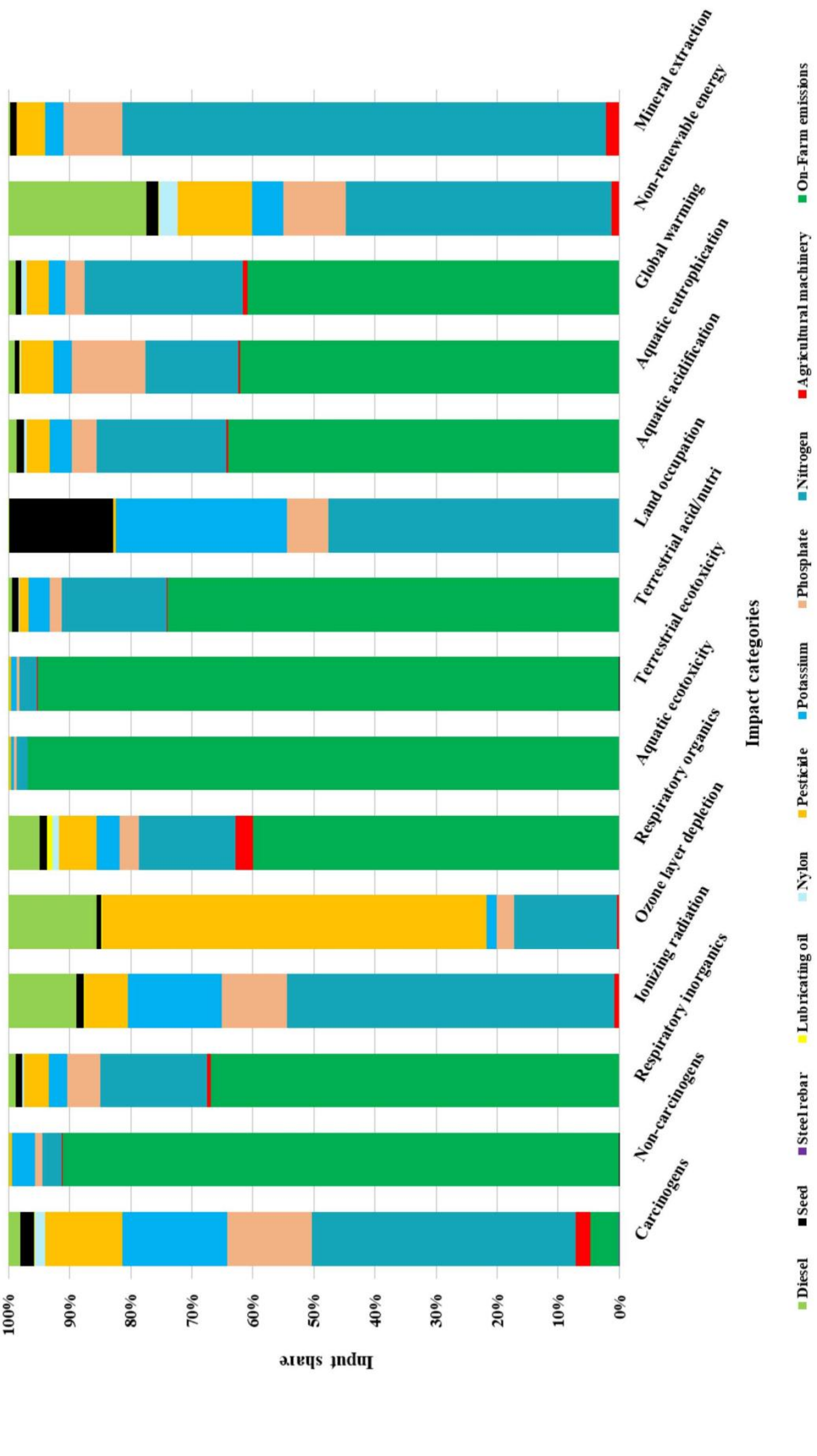
سهم هر کدام از نهاده‌ها در میزان هر یک از گروه‌های تأثیر مورد مطالعه در روش IMPACT 2002+ به‌ترتیب در سامانه‌های کاشت مجدد و راتون برنج در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شد. به‌طور مشخص، در سامانه کشت مجدد برنج، فعالیت‌های درون مزرعه در نه گروه اثر مواد غیرسرطان‌زا، مواد تنفسی غیرآلی، مواد تنفسی آلی، سمیت آبی، اسیدی‌سازی خاکی، سمیت خاکی، اسیدی‌سازی آبی، اوتریفیکاسیون و پتانسیل گرمایش جهانی بیشترین تأثیر را داشتند. این در حالی است که فعالیت‌های درون مزرعه در سامانه راتون برنج تنها در شش گروه اثر (مواد غیر سرطان‌زا، مواد تنفسی غیرآلی، سمیت آبی، اسیدی‌سازی خاکی، سمیت خاکی و اسیدی‌سازی آبی) بالاترین میزان را به خود اختصاص دادند. منشأ این نوع از آلایندگی‌ها سوخت مصرفی و احتراق سوخت در ماشین‌آلات کشاورزی به همراه واکنش‌های ناشی از کودهای شیمیایی و انتشارات ترکیبات نیتروژن‌دار ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه می‌باشند.

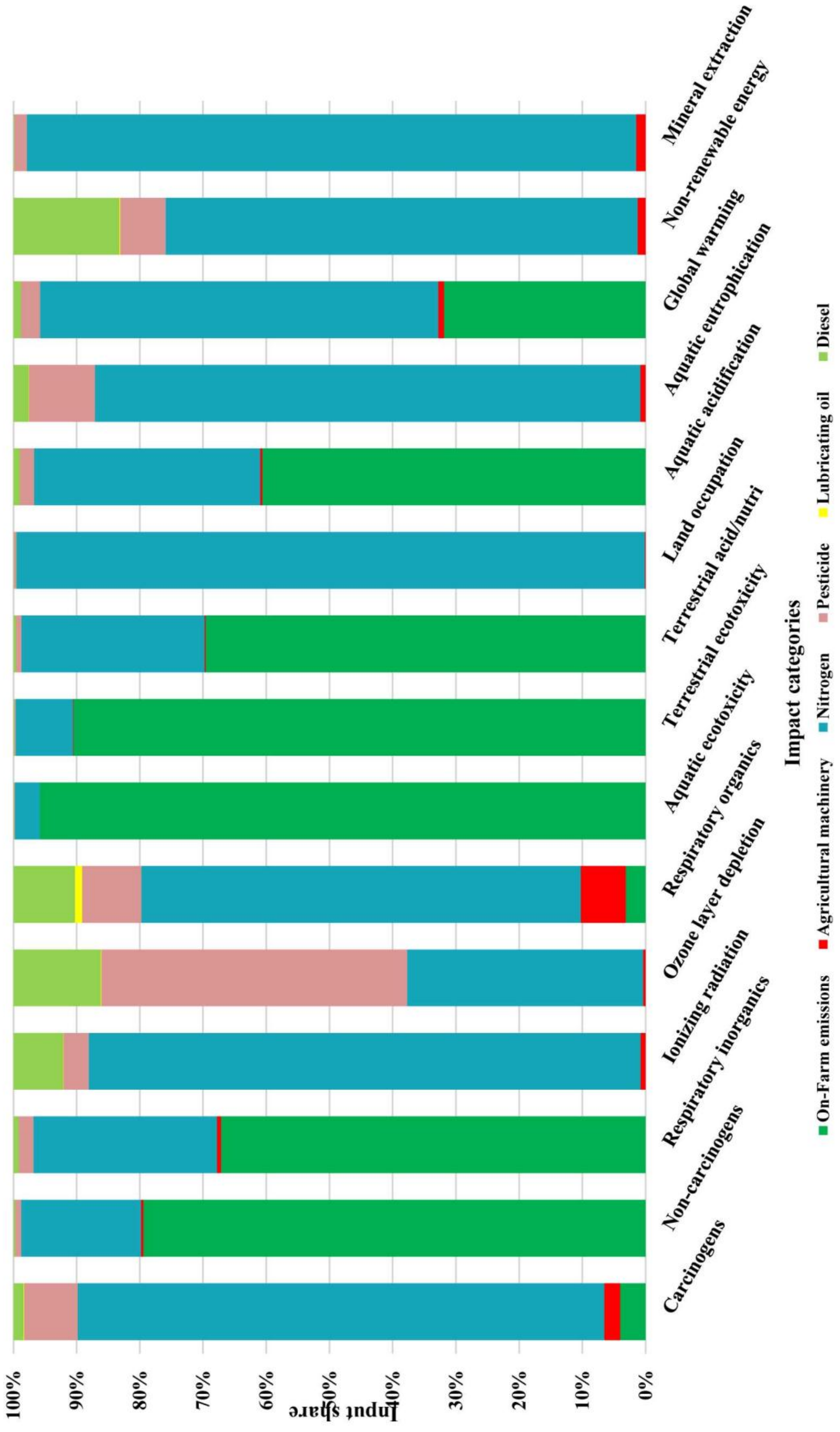
در این راستا، در پژوهش شن و همکاران (Shen et al., 2021) جهت ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات تولید برنج راتون در ۵۶۱ مزرعه استان هوبئی چین، انتشار متان، مصرف سوخت دیزل برای ماشین‌آلات و کودها و سموم شیمیایی مهم‌ترین نقاط بحرانی برای این سامانه تولید برنج شناسایی شدند. همچنین بر اساس اطلاعات مزرعه‌ای جمع‌آوری شده در این تحقیق، تولید هر تن برنج در این سامانه کشت کارآیی زیست‌محیطی بهتری در مقایسه با سامانه کشت اصلی داشت. در مجموع، نتیجه این مطالعه مؤید این نکته کلیدی است که سامانه تولید برنج راتون می‌تواند عملکردی را که با تغییر از سامانه کشت مجدد به تک محصولی کاهش یابد را با حداقل اثرات زیست‌محیطی جبران کند و گزینه جایگزین مناسبی برای افزایش کارآیی با حداقل خسارت زیست‌محیطی باشد.

جدول ۵ گروه‌های مختلف آسیب‌های زیست‌محیطی را در سامانه‌های مختلف تولید برنج در چهار گروه متفاوت نشان می‌دهد. بر این اساس، مقادیر گروه سلامت انسان در دو سامانه کشت مجدد و راتون به‌ترتیب ۰/۰۰۳۰ و ۰/۰۰۲۹ DALY می‌باشد. همچنین مقادیر خسارات کیفیت اکوسیستم نیز در این سامانه‌ها به‌ترتیب در حدود ۱۰۰۸۹/۰۸ و ۷۱۴۶/۵۸ $PDF\times m^2\times yr$ بود. از سویی، مقدار خسارات منابع و نیز خسارات تغییر اقلیم نیز در سامانه کشت مجدد ۱۰۸۲۸/۱۶ MJprimary و ۱۸۹۶/۹۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن و در حدود ۱۳۵۷۶/۲۲ MJprimary و ۱۶۷۳/۹۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن برای سامانه راتون به‌دست آمد.

شکل ۲- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه‌های کشت مجدد برنج

Fig. 2- Proportion of each input and emissions in the environmental pollutants of the rice second cropping systems





شکل ۳– سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه‌های راتون برنج

Fig. 3- Proportion of each input and emissions in the environmental pollutants of ratoon cropping systems

جدول ۵- نتایج دسته خسارات زیست‌محیطی بر مبنای یک تن تولید شلتوک در سامانه‌های مختلف تولید شلتوک

Table 5- Results of damage categories in two paddy systems based on per ton of paddy

دسته خسارات Damage categories	واحد Unit	کشت مجدد Second cropping	راتون Ratoon cropping
سلامت انسان Human health	DALY	0.003027	0.002972
کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality	$PDF\times m^2\times yr$	10089.08	7146.583
تغییر اقلیم Climate change	$kg\ CO_{2\ eq.}$	1896.923	1673.995
منابع Resources	MJ primary	10828.16	13576.22

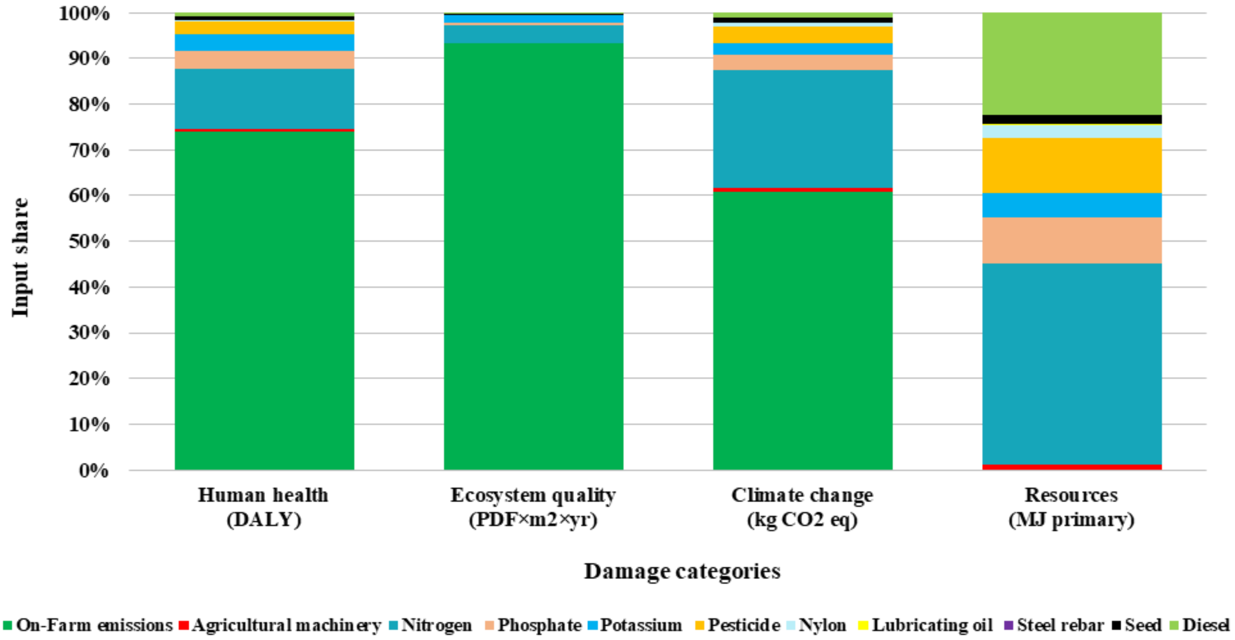
شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب تأثیر هر یک از نهاده‌های مصرفی را در سامانه‌های کشت دوم و راتون در دسته‌های خسارات سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییر اقلیم و منابع نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد گروه آسیب منابع، کود شیمیایی نیتروژن بالاترین سهم را در سامانه‌های کشت دوم و راتون (۴۳/۸۵ و ۷۴/۸۹ درصد) و بعد از آن دیزل (۲۲/۳۷ و ۱۶/۵۴ درصد) داشته است. بدین ترتیب، در سامانه‌های راتون برنج که در آن کاربرد کودهای شیمیایی بالاتر است، سهم کود شیمیایی در گروه آسیب منابع افزایش می‌یابد.

همچنین، انتشارات مستقیم درون‌مزرعه‌ای نقش اساسی در دسته‌های خسارت سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم در هر دو سامانه زراعی داشته است. در این راستا، در سامانه کشت دوم در دسته خسارت سلامت انسان انشارات درون مزرعه‌ای در حدود ۷۳/۹۷ درصد و کود نیتروژن در حدود ۱۳/۱۹ درصد، در گروه آسیب کیفیت اکوسیستم نیز انتشارات درون مزرعه‌ای در حدود ۹۳/۲۹ درصد و در گروه آسیب تغییرات اقلیم نیز انتشارات درون مزرعه‌ای با ۶۰/۹۵ و کود نیتروژنه نیز با حدود ۲۵/۹۶ درصد بالاترین سهم را به خود اختصاص دادند. انتشارات درون مزرعه در سامانه راتون نیز در دسته خسارات سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم به‌ترتیب در حدود ۶۷/۵۶ و ۸۷/۷۱ درصد بود، این در حالی است که در دسته خسارت تغییرات اقلیم بالاترین سهم در این سامانه‌ها مربوط به کودهای نیتروژنه با سهم ۶۳ درصد بوده است. انتشارات مستقیم درون‌مزرعه‌ای معمولاً در نتیجه احتراق دیزل و به‌کارگیری کودهای شیمیایی و سموم در شالیزارها هستند. انتشارات مستقیم ناشی از فعالیت‌های درون مزرعه-ای در هر دو سامانه است که منشأ این آلایندگی‌ها را می‌توان در احتراق سوخت مصرفی در تجهیزات کشاورزی و نیز انتشار اکسیدهای نیتروژن‌دار، دی اکسید نیتروژن و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار حاصل از مصرف کود نیتروژن دانست. به‌طور مشابهی، هوکوزانو و هایاشی (Hokazono & Hayashi, 2012) گزارش دادند که انتشارات مستقیم از مهم‌ترین مشارکت‌کننده‌ها در اثرات زیست محیطی در سامانه‌های تولید برنج به‌شمار می‌روند. علاوه‌براین، آلام و همکاران (Alam et al., 2019) نیز خاطر نشان کردند، سهم نسبی انتشارات درون‌مزرعه‌ای در حدود ۶۷ درصد انتشارات گازهای گلخانه-ای بوده است؛ نتایج آن‌ها با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در مورد گروه آسیب منابع، کودهای شیمیایی نیتروژنه بالاترین سهم را در هر دو سامانه به خود اختصاص داده است، چرا که تولید کودهای شیمیایی در کارخانه‌ها، مقادیر فراوانی از منابع را مصرف می‌کنند. نتایج مشابه دیگری در مورد گیاهان مختلف نیز بیانگر این واقعیت است که کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه و سوخت دیزل بالاترین سهم را در انتشارات گازهای گلخانه‌ای داشته‌اند (Lu et al., 2018; Moradi et al., 2018).

شکل‌های ۶ و ۷ مقادیر و شاخص‌های وزن‌دهی‌شده کل انتشارات را در سامانه‌های مختلف مورد بررسی به نمایش می‌گذارند. بر اساس این نتایج، در رده‌های آسیب سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییر اقلیم در هر سامانه کشت مجدد در این پژوهش، انتشارات درون‌مزرعه‌ای دارای بالاترین میزان اثر در این رده‌های یاد شده محسوب می‌شوند و در سامانه راتون فعالیت درون‌مزرعه‌ای در شاخص‌های سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم و نیز نیتروژن بالاترین سهم را در رده آسیب تغییرات اقلیم داشته است. در پژوهشی در شالیزارهای شمال ایران، بالاترین میزان اثر سامانه‌های مختلف تولید برنج به سلامت انسان و پس از آن به کیفیت اکوسیستم تعلق داشت (Saber et al., 2020).

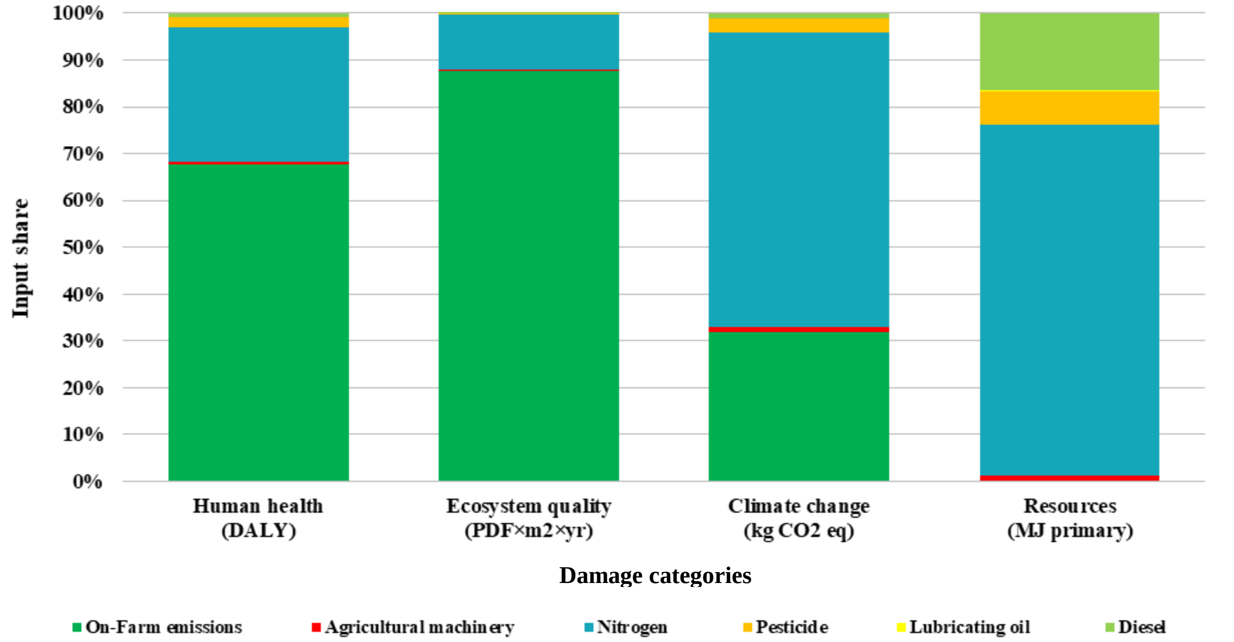
شکل ٤- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و تأثیر آن‌ها در دسته خسارات در سامانه کشت مجدد برنج

Fig. 4- Proportion of each input and emissions in damage categories of the rice second cropping system



شکل ٥- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و تأثیر آن‌ها در دسته خسارات در سامانه راتون برنج

Fig. 5- Proportion of each input and emissions in damage categories of the rice ratoon cropping system



علاوه‌براین، این نتایج حکایت از ایـن حقیقـت دارنـد کـه در رده آسیب منابع نیز در هر دو سامانه مورد بررسی (شکل‌های ۶ و ۷)، کود شیمیایی نیتروژنه، به‌ویژه در سامانه‌های تولید راتون بـالاترین مقـدار انتشارات را به خود اختصاص داده است که دلیل این افزایش را مـی-

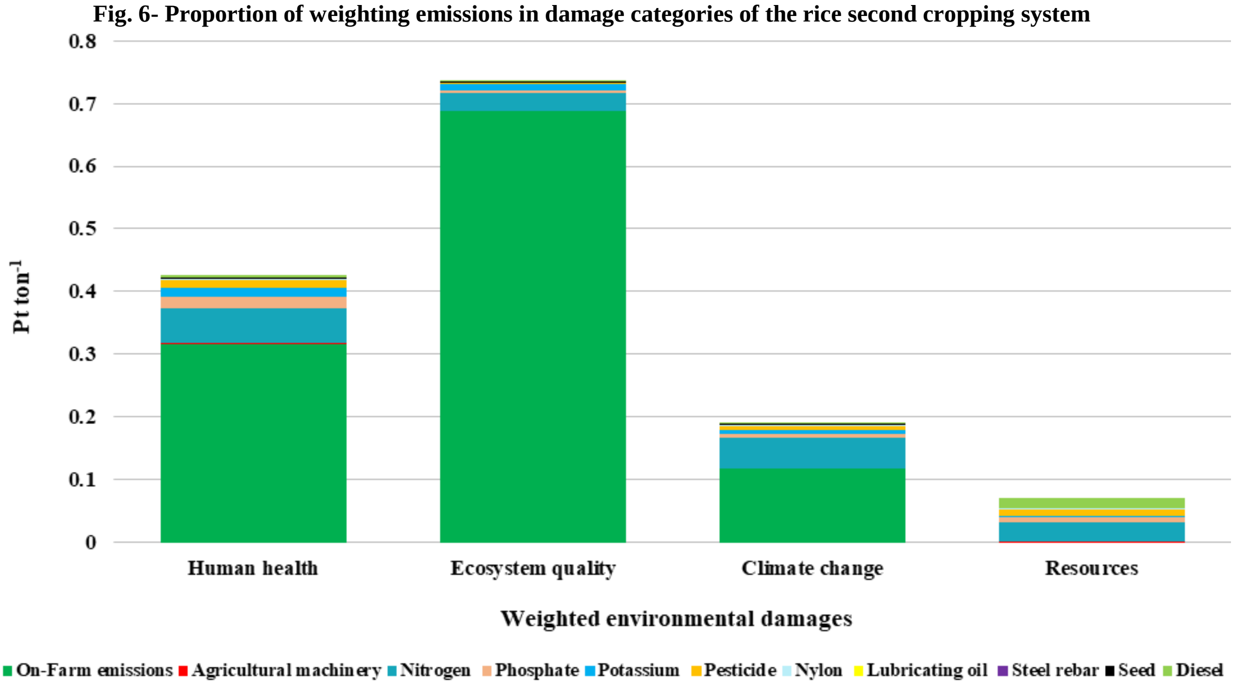
توان مصرف بسیار زیاد کودهای شیمیایی نیتروژنه در سامانه‌های تولید راتون دانست. همچنین، نتایج وزن‌دهی حکایت از آن دارند که هر دو سامانه تولید بیشترین تأثیر مخرب را به کیفیت اکوسیستم و پس از آن به سلامت انسان و تغییرات اقلیم از خود نشان می‌دهند. از جمله دلایل عمده انتشارات گازهای گلخانه‌ای در سامانه‌های کشاورزی را می‌توان به مصارف بیش از حد سوخت در تجهیزات کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت و نیز مصارف بیش از اندازه کودهای شیمیایی نسبت داد. در این راستا، برن‌تروپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) بیان داشتند در حدود ۶۰ درصد از کل انتشار دی‌اکسیدکربن به‌طور مستقیم به فرایند تولید کودهای شیمیایی نیتروژنه وابسته است. در بررسی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم تولیدی نسبتاً فشرده برنج در کالیفرنیا، انتشارات داخل مزرعه با ۶۹ درصد بیش‌ترین سهم را داشت. این پژوهشگران به‌منظور کاهش انتشارات چرخه حیات این محصول، افزایش بازده سوخت مصرفی یا کاهش استفاده از ماشین‌آلات مزرعه و بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن را پیشنهاد نمودند (Brodt et al., 2014).

علاوه‌براین، در مطالعه دیگری برای ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات برنج تولیدی در مزارع چوانجیاو چین هم مصرف نهاده‌های کود شیمیایی، دیزل و الکتریسیته مهم‌ترین نقاط داغ زیست‌محیطی در تولید این محصول بودند (Chen et al., 2021). در پژوهشی در شالیزارهای شمال ایران، بالاترین میزان اثر سامانه‌های مختلف تولید برنج به سلامت انسان و پس از آن به کیفیت اکوسیستم تعلق داشت (Saber et al., 2020).

در مقام مقایسه دو سامانه مورد نظر با یکدیگر، همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، کشت مجدد برنج در سه رده آسیب سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییر اقلیم نسبت به کشت راتون تأثیر بیشتری داشته است، این درحالی است که در رده آسیب منابع سامانه راتون نسبت به کشت دوم از میزان اثرگذاری بیشتری برخوردار بوده است. به‌طور مشابه، نتایج بررسی میدانی از ۲۴۰ مزرعه برنج در مرکز چین نشان داد که سامانه کشت راتون می‌تواند گزینه مناسبی از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی برای بهره‌برداران برنج باشد (Yuan et al., 2019).

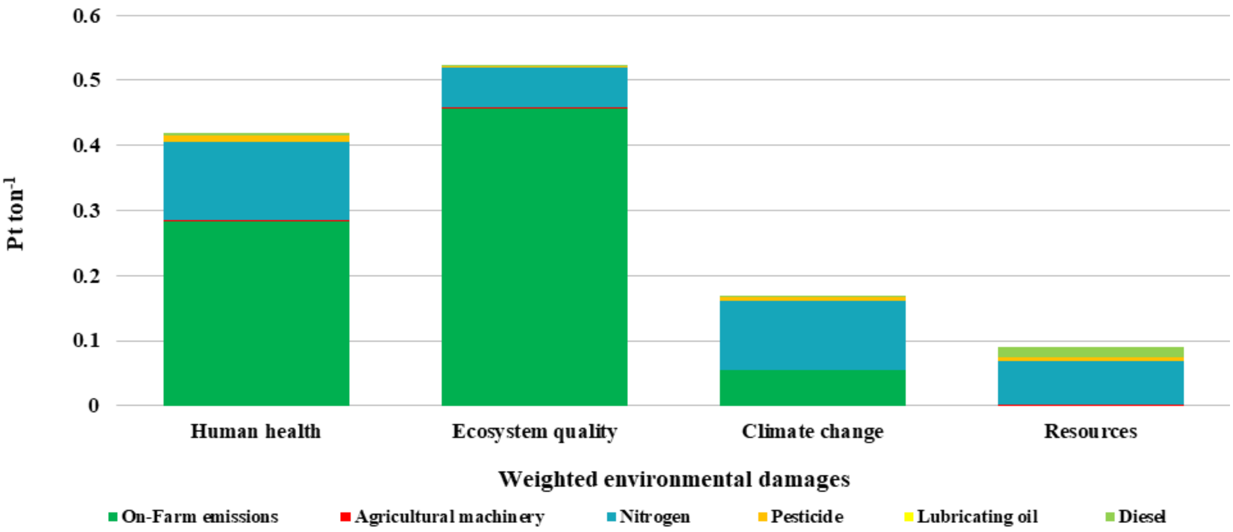
شکل ٦- مقادیر انتشارات وزن‌دهی‌شده هر یک از رده‌های آسیب در سامانه کشت مجدد برنج

Fig. 6- Proportion of weighting emissions in damage categories of the rice second cropping system



شکل ۷- مقادیر انتشارات وزن‌دهی‌شده هر یک از رده‌های آسیب در سامانه راتون برنج

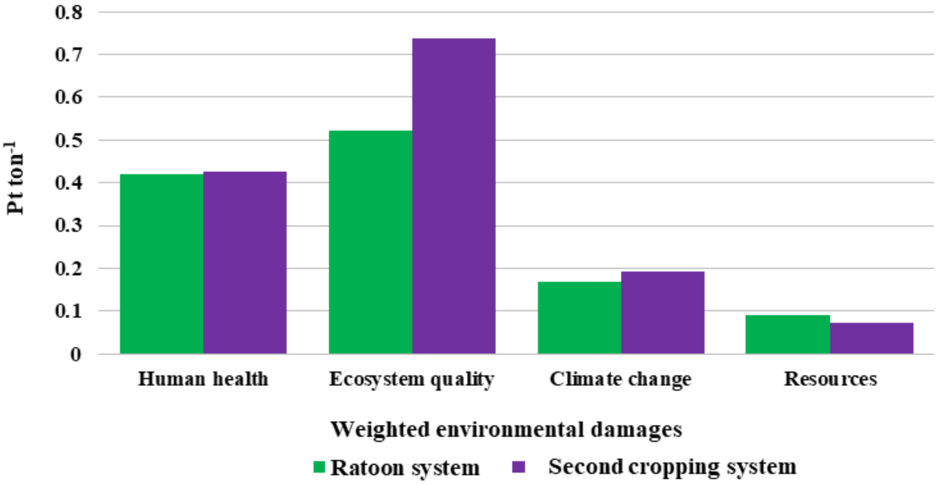
Fig. 7- Proportion of weighting emissions in damage categories of the rice ratoon cropping system



نتایج آزمایش میدانی دیگری جهت اندازه‌گیری انتشار متان (CH_4) در اولین فصل برداشت و راتون مزرعه برنجی در لوئیزیانا آمریکا نشان داد که میزان انتشار این آلاینده اتمسفری در طی ۷۳ روز از رشد محصول راتون تحت تیمار کود اوره با مقدار انتشاری معادل ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از میزان انتشار ۳۴۰ کیلوگرم در هکتار در طی ۷۷ روز از رشد محصول اصلی بود (Lindau & Bollich, 1993). همچنین، در پژوهشی دیگر با بررسی تولید برنج راتون در کشور چین پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که تولید برنج راتون می‌تواند یک گزینه جایگزین مطلوب به‌منظور افزایش بهره‌وری با حداقل تأثیرات محیطی در تولید باشد (Shen et al., 2021).

شکل ۸- مقایسه انتشارات وزن‌دهی‌شده هر یک از رده‌های آسیب در سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج

Fig. 8- Comparison of weighting emissions in damage categories of the rice second cropping and rice ratoon systems



علاوه‌براین، در مطالعه‌ای با بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی در سناریوهای مختلف تولید برنج از جمله کشت اول- راتون، کشت اول- کشت مجدد و کشت کلزا- کشت برنج، پژوهشگران نشان دادند که کشت برنج در سناریو کشت اول- کشت مجدد و سناریو بعد از برداشت کلز آثار مخرب زیست‌محیطی بالایی از منظر ردپای آب و تخلیه منابع داشته‌اند. این پژوهشگران اذعان داشتند که سناریو کشت اول- راتون در کنار تولید محصول مناسب برای کشاورزان، دارای اثرات زیست‌محیطی پایین‌تری نسبت به دو سناریوی دیگر بوده است (Motevaliet al., 2019). در این راستا، سامانه تولید برنج راتون به‌عنوان روشی سبز و کارآمد از نظر منابع برای تولید برنج شناخته

شده که با مدیریت مناسب زراعی می‌تواند ضمن بهبود کیفیت دانه و تولید عملکردی معادل ۶۰ درصد محصول اصلی سبب افزایش سود برای زارعین و کاهش نیروی کار، منابع و انتشار گازهای گلخانه‌ای گردد (Wang et al., 2020).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی مؤلفه‌های زیست‌محیطی سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج پرداخته است. یافته‌های حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که بیشترین مقادیر گروه تأثیر زیست-محیطی پتانسیل گرمایش جهانی به سامانه‌های کشت مجدد برنج متعلق بود که این میزان به مصرف فشرده نهاده‌ها و مدیریت خاک-ورزی و مصرف سوخت‌های فسیلی در این سامانه‌ها مرتبط می‌باشد. در این راستا، مقادیر خسارات زیست‌محیطی بر مبنای یک تن تولید شلتوک در سامانه‌های تولید راتون برنج نسبت به سامانه‌های کشت مجدد اثرات کمتری را در رده‌های آسیب کیفیت اکوسیستم‌ها، سلامت انسان و تغییر اقلیم از خود نشان داد. همچنین، در سامانه‌های کشت مجدد و راتون فعالیت‌های درون‌مزرعه‌ای به‌ترتیب در نه و شش گروه اثر نقشی اساسی داشتند. در مجموع، با توجه به یافته‌های این پژوهش و تبعات منفی زیست‌محیطی حاصل از نظام‌های کشت مجدد تولید برنج، سامانه تولید برنج راتون می‌تواند اثرات زیست‌محیطی را نسبت به سامانه کشت مجدد کاهش دهد و گزینه جایگزین مناسبی برای به حداقل رساندن خسارات زیست‌محیطی باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۱۱۰/۹۹/۱۶۶۹۰/د مصوب ۱۳۹۹/۰۶/۱۱ از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تأمین شده است که به‌این‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Alam, M.K., Bell, R.W., & Biswas, W.K. (2019). Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *224*, 72-87. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.215
2. Alipour, A., Veisi, H., Darijani, F., Mirbagheri, B., & Behbahani, A.G. (2012). Study and determination of energy consumption to produce conventional rice of the Guilan province. *Research in Agricultural Engineering*, *58*, 99-106. https://doi.org/10.17221/8/2011-RAE
3. Ansari, M.J., Khoramdel, S., Ghorbani, R., & Pirdashti, H. (2015). Evaluationof global warming potential for rice in the first and second cropping patterns (Case study: Sari province). *Journal of Agroecology*, *3(1)*, 14-26. (In Persian with English Summary)
4. Armanuos, A.M., Negm, A., & El Tahan, A.H.M.H. (2016). Life cycle assessment of diesel fuel and solar pumps in operation stage for rice cultivation in Tanta, Nile Delta, Egypt. *Procedia Technology*, *22*, 478-485. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.095Get rights and content
5. Bare, J.C. (2002). TRACI: The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology*, *6(3- 4)*, 49-78. https://doi.org/10.1162/108819802766269539
6. Beccali, M., Cellura, M., Iudicello, M., & Mistretta, M. (2009). Resource consumption and environmental impacts of the agrofood sector: Life cycle assessment of Italian citrus-based products. *Environmental Management*, *43(4)*, 707-724. DOI 10.1007/s00267-008-9251-y
7. Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A., & Smith, P. (2008). Cool Farming: Campaigning for Sustainable Agriculture. Greenpeace International Ottho. https://www.organicconsumers.org/sites/default/files/cool-farming-full-report.pdf (Accessed 22 December 2015).
8. Blengini, G.A., & Busto, M. (2009). The life cycle of rice: LCA alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). *Journal of Environmental Management*, *90(3)*, 1512-1522. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.006
9. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004a). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, *20(3)*, 247-264.
10. Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004b). Environmental impact

assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer uses in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, *20(3),* 265-279.

11. Brodt, S., Kendall, A., Mohammadi, Y., Arslan, A., Yuan, J., Lee, I., & Linquist, B. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. *Field Crops Research, 169,* 89-98. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.007
12. Chabra, D., Kashani Nezhad, M., & Rafiee, S.H. (2006). Comparison of the contents of waste in different drying rice. Proceedings of the First National Conference on Rice 5-4 December, Amol, Iran. (In Persian).
13. Chen, Y., Liu, C., Chen, J., Hu, N., & Zhu, L. (2021). Evaluation on environmental consequences and sustainability of three rice-based rotation systems in Quanjiao, China by an integrated analysis of life cycle, emergy and economic assessment. *Journal of Cleaner Production*, *310*, 127493. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127493
14. Dai, L., Jia, J., Yu, D., Lewis, B.J., Zhou, L., Zhou, W., Zhao, W., & Jiang, L. (2013). Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, *300*,106-116. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.046
15. Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., Madani, H., & Yadi, R. (2016). Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. *Iranian Journal of Crop Science*, *14(1),* 19-28. (In Persian with English Summary).
16. Durlinger, B., Koukouna, E., Broekema, R., & Van Paassen, M. (2015). Scholten. Agri-foot- print 3.0. Blonk Consultans, Gouda, The Netherlands.
17. Fangueiro, D., Becerra, D., Albarrán, Á., Peña, D., Sanchez-Llerena, J., Rato-Nunes, J.M., & López-Piñeiro, A. (2017). Effect of tillage and water management on GHG emissions from Mediterranean rice growing ecosystems. *Atmospheric Environment*, *150*, 303-312. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.020
18. Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K., & Klüppel, H.J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *11(2),* 80-85.
19. Firouzi, S., Nikkhah, A., & Aminpanah, H. (2018). Rice single cropping or ratooning agro-system: Which one is more environment-friendly. *Environmental Science and Pollution Research*, *25(32),* 32246-32256. (In Persian with English Summary)
20. Fu, L., Zhao, Y., Xu, Z., & Wu, B. (2015). Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes, *Soils Sediments*, *15(2),* 249-259. DOI 10.1007/s11368-014-1050-x
21. Guinée, J.B., & Lindeijer, E. (2002). Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards (Vol. 7). Springer Science and Business Media.
22. He, X., Qiao, Y., Liang, L., Knudsen, M.T., & Martin, F. (2018). Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China. *Journal of Cleaner Production*, *176*, 880-888. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.045
23. Hokazono, S., & Hayashi, K. (2012). Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: A comparison among three rice production systems in Japan. *Journal of Cleaner Production*, *28*, 101-112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.005
24. Hokazono, S., & Hayashi, K. (2015). Life cycle assessment of organic paddy rotation systems using land and product-based indicators: A case study in Japan. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *20(8),* 1061–1075. DOI 10.1007/s11367-015-0906-7
25. Homayouni, Z., Abolhassani, L., & Sabuhi, M. (2018). Environmental impact assessment of different varieties of rice paddy in the Kordkoy. Journal of Agroecology *10(2),* 580-602. (In Persian with English Summary).
26. IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2 Institute for Global Environmental Strategies Hayama, Japan.
27. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T.G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
28. ISO. (1997). ISO 14040-Environmental management-Life cycle assessment-principles and framework. p.14.
29. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013b). Applying data envelopment analysis

approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, *58*, 588-593. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.06.030

30. Lindau, C.W., & Bollich, P.K. (1993). Methane emissions from Louisiana first and ratoon crop rice. *Soil Science*, *156*, 42-48.
31. Lu, B., Yang, J., Ijomah, W., Wu, W., & Zlamparet, G. (2018). Perspectives on reuse of WEEE in China: Lessons from the EU. *Resources, Conservation and Recycling Journal*, *135*, 83e92. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.012
32. Miao, R., Lu, N.; Yao, L.; Zhu, Y.; Wang, J.; & Sun, J. (2013). Multi-year comparison of carbon dioxide from satellite data with ground-based FTS measurements (2003-2011), *Remote Sensing 5(7)*, 3431-3456. https://doi.org/10.3390/rs5073431
33. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. (2019). Annual agricultural statistics. Available at: www.maj.ir. (In Persian)
34. Mollafilabi, A. (2019). Comparison of environmental impacts for rice (*Oryza sativa* L.) agroecosystems in the first and second planting patterns by using life cycle assessment (Case study: Sari County). *Journal of Agroecology*, *10(4)*, 949-964. (In Persian with English Summary). 10.22067/jag.v10i4.56929
35. Moradi, M., Nematollahi, M.A., Mousavi Khaneghah, A., Pishgar-Komleh, S.H., & Rajabi, M.R. (2018). Comparison of energy consumption of wheat production in conservation and conventional agriculture using DEA. *Environmental Science Pollution Research*, *25*, 35200-35209. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3424-x
36. Morino, I., Uchino, O., Inoue, M., Yoshida, Y., Yokota, T., Wennberg, P., & Rettinger, M. (2010). Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra. *Atmospheric Measurement Techniques*, *4(2)*, 1061-1076. https://doi.org/10.5194/amt-4-1061-2011
37. Motevali, A., Hashemi, S.J., & Tabatabaeekoloor, R. (2019). Environmental footprint study of white rice production chain-case study: Northern of Iran. *Journal of Environmental Management*, *241*, 305-318. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.033
38. Motevali, A., Yasour, S., Teymori Omran, M., & Mousavi Seyedi, S.R. (2019). Investigating of environmental indicators of water footprint and Depletion of resources in different scenario of rice cultivation. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13(2)*, 512-527. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.20087942.1398.13.2.21.9
39. Moumeni, A., Yazdi-Samadi, B., Wu, J., & Leung, H. (2003). Genetic diversity and relatedness of selected Iranian rice cultivars and disease resistance donors assayed by simple sequence repeats and candidate defense gene markers. *Euphytica*, *131*, 275-284.
40. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K.W. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 571–86. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.071
41. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K.W. (2019). Comprehensive model of energy, environmental impacts, and economic in rice milling factories by coupling adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *217*, 742-756. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.228
42. Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., and Chervet, A. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural System*, *104*, 233-245. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.007
43. Nouri, M.Z., Gholami, M., Mousavi, A.A., & Hosseini, S. (2014). Study of rice replanting in Mazandaran and comparison of crop indices of rice cultivars in two cultivations, 13th Iranian Conference on Agriculture and Plant Breeding and 3rd Conference Iranian Seed Science and Technology, Karaj, Iran. (In Persian)
44. Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliete, O., Rydberg, T., & Rebitzer, G. (2004). Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. *Environment International*, *30*, 721–739. https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.009
45. Pishgar-Komleh, S.H., Akram, A., Keyhani, A., Raei, M., Elshout, P.M.F., & Huijbregts, M.A.J. (2017). Variability in the carbon footprint of open-field tomato production in Iran -A case study of Alborz and East-Azerbaijan provinces. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 1510–1507.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.154
46. Rahman, N.M.F., Hossain, M.I., Aziz, M.A., & Baten, M.A. (2014). Prospects of rice production in Bangladesh. *Advances in Environmental Biology, 7(14):*, 4542-4549.
47. Rashid, A. F.A., & Yusoff, S. (2015). A review of life cycle assessment method for building industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 244-248.
48. Romero-Gámez, M., Suárez-Rey, E., Antón, A., Castilla, N., & Soriano, T. (2012). Environmental impact of screen house and open-field cultivation using a life cycle analysis: The case study of green bean production. *Journal of Cleaner Production*, *28*, 63-69. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.006
49. Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., & Okadome, H. (2009). A review of cycle life assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, *90*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016
50. Saber, Z., Esmaeili, M., Pirdashti, H., Motevali, A., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Exergoenvironmental-life cycle cost analysis for conventional, low external input and organic systems of rice paddy production. *Journal of Cleaner Production*, *263*, 121529. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121529
51. Sahle, A., & Potting J. (2013). Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment*, *443*, 163-172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.048
52. Schau, E.M., & Fet, A.M. (2008). LCA studies of food products as background for environmental product declarations. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *13(3),* 255-264.
53. Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Ten Berge, H.F.M., Van Keulen, H., & Neeteson, J.J. (2003). An evaluation of wholefarm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, *20,* 33-44. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00070-4
54. Shen, X., Zhang, L., & Zhang, J. (2021). Ratoon rice production in central China: Environmental sustainability and food production. *Science of the Total Environment*, *764,* 142850.
55. Song, K., Zhang, G., Yu, H., Huang, Q., Zhu, X., Wang, T., Xu, H., Lv, S., & Ma, J. (2021). Evaluation of methane and nitrous oxide emissions in a three-year case study on single rice and ratoon rice paddy fields. *Journal of Cleaner Production*, *297*, 126650. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126650
56. Song, K., Zhang, G., Yu, H., Xu, H., Lv, S., & Ma, J. (2021). Methane and nitrous oxide emissions from a ratoon paddy field in Sichuan province, China. *European Journal of Soil Science, 72,* 1478-1491. https://doi.org/10.1111/ejss.13066
57. Tong, R., Zhai, Y., & Li, X. (2015). An LCA-based health damage evaluation method for coal mine dust. Veterinary Clinical Pathology: A Case-Based Approach, 223-230.
58. Wang, M., Xia, X., Zhang, Q., & Liu, J. (2010). Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, *17(2),* 157-161. https://doi.org/10.1080/13504501003594224
59. Wang, W., He, A., Jiang, G., Sun, H., Jiang, M., Man, J., Ling. X., Cui, K., Huang, J., Peng, S., & Nie, L. (2020). Ratoon rice technology: A green and resource-efficient way for rice production. *Advances in Agronomy*, *159*, 135-167. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.006
60. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): Overview and methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *21*, 1218–1230.
61. Wikström, H., & Adolfsson, R., 2004. Field burning of crop residues. SMED Report No 62.
62. Yazdpour, H., Shirani-Rad, A.H., & Mobaser, H.R. (2007). Examination of the harvesting time and cutting height on yield and yield components of rice ratoon (*Oryza sativa* L.) Taroom Hashemi variety. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 151-160. (In Persian with English Summary)
63. Yodkhum, S., Gheewala, S.H., & Sampattagul, S. (2017). Life cycle GHG evaluation of organic rice production in Northern Thailand. *Journal of Environmental Management*, *196*, 217-223. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.004
64. Yuan, S., Cassman, K.G., Huang, J., Peng, S., & Grassini, P. (2019). Can ratoon cropping improve resource use efficiencies and profitability of rice in central China? *Field Crops Research*, *234*, 66-72. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.004